

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЧЕРЕДНІК ДИМИТРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 624.011.1:674.028.9:624.074.1

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ
ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ БАШТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З КЛЕЯНОЇ ДЕРЕВИНИ**

спеціальність 05.23.01- будівельні конструкції,
будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

Харків - 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі металевих та дерев'яних конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури Міністерства освіти України.

Науковий керівник

- доктор технічних наук, професор

Фурсов Вадим Вікторович,

професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.

Офіційні опоненти

-доктор технічних наук, **Шмуклер Валерій Самуїлович**, професор кафедри будівельних конструкцій Харківської державної академії міського господарства;

- кандидат технічних наук, доцент Кириленко Віталій Федорович, доцент кафедри будівельних конструкцій Кримського інституту природоохоронного та курортного будівництва (м. Сімферополь).

Провідна установа - Український зональний науково-дослідний і проектний інститут з цивільного будівництва (ВАТ "КиївЗНДЦЕП") Державного Комітету України у справах будівництва, архітектури і житлової політики (м. Київ).

Захист відбудеться 15 квітня 1999 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м.Харків, майд. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 310050, м. Харків, майд. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий 12 березня 1999 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

кандидат технічних наук, доцент

Єрмак Є.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток сучасних галузей науки та техніки, а саме техніки високих напруг (ТВН), викликав необхідність створення нового класу ізоляційних несучих будівельних конструкцій для підтримки устаткування імпульсного електро-фізичного впливу. Такі конструкції, які повинні бути практично безметальними, можуть виконуватись із ізоляційних матеріалів: скла та деревних пластиків, фарфорових ізоляторів та деревини. Деревина, що має необхідні діелектричні властивості, є відносно дешевим і високотехнологічним матеріалом.

На кафедрі МДК ХДТУБА набутий значний науково-практичний досвід проектування, будівництва й експлуатації ізоляційних несучих конструкцій електрофізичних споруд, що виконані з клеяної деревини. Тому мета й задачі дисертаційної роботи спрямовані на вирішення питань, що виникають як в процесі проектування, так і в процесі експлуатації цих конструкцій. Ці питання, як правило, не регламентовані нормативними актами, що застосовуються до традиційних для будівництва матеріалів - сталі, залізобетону. Дослідження, які були проведені для об'єктів електрофізичного призначення, є загальними й для інших конструкцій з клеяної деревини.

Мета дисертаційної роботи полягає в дослідженні особливостей роботи клеяних дерев'яних конструкцій на сколювання, зім'яття, стиснення та вигин, а також в оцінюванні напружено-деформованого стану великомасштабних вузлових з'єднань баштових конструкцій, об'єктів електротехнічного призначення, що виконані з клеяної деревини.

Задачі досліджень:

- оцінити електротехнічну тривкість клеяної деревини у високовольтних спорудах;
- дослідити роботу на сколювання та стисле зім'яття подушок із КДК;
- оцінити вплив масштабу поперечних перерізів на тривкі й пружні характеристики при зім'ятті, сколюванні, вигині;
- визначити модуль об'ємної деформації клеяної деревини, а також особливості роботи конструкцій та великомасштабних вузлів в умовах складного напруженого стану з урахуванням анізотропії будови;
- уточнити особливості їх розрахунку.

Наукова новизна отриманих результатів складається:

- у вивченні та розробці вузлових з'єднань башт із клеяної деревини;
- в експериментальному оцінюванні їх дійсної роботи та розробці пропозицій з методики розрахунку;
- у визначенні уточнюючих коефіцієнтів впливу масштабу поперечних перерізів для КДК на різні види напружено-деформованого стану;
- в експериментальному дослідженні складного напруженого стану конструкцій і вузлів із клеяної деревини на двоосне стиснення для оцінки їх несучої здатності.

Практичне значення отриманих результатів складається з того, що аргументований облік анізотропії в ізоляційних конструкціях із клеяної деревини зменшить імовірність появи відмов, що підвищить їх загальну надійність при різних впливах. Дослідження, що були проведені для об'єктів електротехнічного призначення, мають універсальний характер, а результати, які отримані в роботі, можуть використовуватись в традиційних конструкціях, які виконані з різної деревини.

Упровадження. Результати досліджень вузлових з'єднань із клеяної деревини упроваджені в об'єктах, створених на експериментальній базі НДПКІ "Молния" в Харківській області та інших проектах баштових опор електрофізичних устаткувань, а також знайшли відображення в проекті вітчизняних відомчих норм ВБН-СГіП - 46-9-97 "Дерев'яні конструкції".

Особистий внесок здобувача визначається проведенням широких експериментальних досліджень тривких і пружних властивостей клеяної деревини на різні види напружено - деформованого стану з урахуванням впливу масштабного чинника, вивченням роботи конструкцій та вузлів електрофізичних устаткувань, пропозиціями з їх розрахунку.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались на міжнародних конференціях: в м.Рівне у 1993 р., в м. Харкові у 1996 р. та в 1997 р., на науково-технічних конференціях ХДГУБА з 1991 - 1998 р. В закінченому вигляді робота доповідалась на кафедрі МДК ХДГУБА у 1997 р. та 1998 р., а також на семінарі докторської ради Д64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту в 1999 р.

Публікації. Оpubліковано 11 робіт, з яких 10 за темою дисертації.

Обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, основних висновків, списків використаної літератури та додатків загальною кількістю 165 сторінок друкованого тексту, а саме: 130 стор. основного тексту, 42 рисунки, 12 таблиць, 22 стор. додатка. Список використаних джерел має 153 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність, новизна, а також практичне значення дисертаційної роботи, вказується на необхідність теоретичного та експериментального дослідження клеяної деревини, як будівельного матеріалу, що застосовується в конструкціях об'єктів з підвищеними діелектричними вимогами.

Перший розділ присвячений аналізу робіт, пов'язаних з вивченням клеяної деревини, як будівельного матеріалу з різними властивостями в напрямку осей пружної симетрії, а також різноманітних конструкцій з цього матеріалу. Встановлено, що в більшості випадків деревина розглядається як лінійно-пружний матеріал, а різниця властивостей враховується шляхом введення поправочних коефіцієнтів, що відображають особливості фізичних властивостей матеріалу. Однак в останній час намічається тенденція зближення розрахункових положень з дійсним характером роботи матеріалу під навантаженням. Початок такому підходу покладено в роботах Митинського А.М., Павлова А.П., Ашкеназі О.К., Коченова В.М., Іванова Ю.М., Соболева Ю.С., Флаксермана О.М. В подальшому цей напрямок розвивався в наукових роботах Серова Є.М., Орловича Р.Б., Лабудіна В.Б., Фурсова В.В. та інших. Різнманітність конструктивних форм стала поштовхом для початку досліджень різного виду з'єднань (Отрешко О.І., Знаменський Є.М., Тахтамишев Г.Г., Освенський Б.А., Дерев'ягин В.С., Іванов Ю.М., Ляшин О.Б., Кочетков В.М., Дмитрієв П.А.). Розробка й упровадження до практики будівництва клеяних дерев'яних конструкцій (КДК) почало вторинне народження деревини як будівельного матеріалу. Значний вклад до рішення цієї проблеми внесли вчені вузів: МІБІ, ЛІБІ, ВІБІ, КІБІ, ХІБІ та інші. Продовжили широкі наукові дослідження НДІ (ЦНДІБК, ЦНДІ промбудівль, ЦНДІ видовищних будівль та спорспоруджень, ЦНДІМОД та багато інших). Роботи Биковського В.К., Соколовського В.С., Губенка А.Б., Іванова Ю.М., Іванова В.Ф., Іванова В.А. та інших. Створили передумови подальшого розвитку дерев'яних конструкцій. З'явилась виробнича база (26 заводів КДК, оснащених сучасним обладнанням), що дозволяла здійснювати упровадження до практики клеяної деревини, а ціла низка її переваг перед суцільною, змістила акценти наукових досліджень. Зусилля вчених були спрямовані на створення нових конструктивних форм, на дослідження великомасштабних зразків у натуральний розмір, на вивчення технологічних питань виготовлення. Упровадження масової клеяної деревини вимагало удосконалення старих, випробування на практиці вузлових з'єднань, а також створення нових, відповідаючих особливостям КДК. Запропоновані Зубаревим Г.М. з'єднання на вклеяних стержнях та наукові дослідження активно упроваджувались до практики будівництва у вигляді різних модифікацій центральною лабораторією ЦНДІБК ім. Кучеренка. Підхід, що враховує анізотропні властивості матеріалу, вимагає використання припустимого критерія міцності, здатного описати процес деформування в умовах складного напруженого стану, а також проведення додаткових досліджень механічних та пружних характеристик клеяної деревини, що являє собою фактично інший матеріал, який відрізняється від суцільної природної деревини. Дослідження, що проводились у ХІБІ на період з 1984 по 1994 роки показали, що клеєві шви, більшістю уявляють собою армуючий прошарок. У зв'язку з цим ставиться питання про створення нових ДЕСТів на випробування клеяної деревини, які визначали би дійсне значення механічних характеристик. Появлення Єврокодів також є додатковим стимулом перегляду ряду підходів до розрахунків конструкцій із клеяної деревини.

Розвиток сучасних галузей науки й техніки викликав необхідність створення нового класу будівельних конструкцій ізоляційного призначення, що сприймають різні імпульсні електричні впливи. У цьому напрямку плідно працює ряд наукових організацій, а також і наукові підрозділи ХДТУБА. Особливістю цього класу конструкцій є недопустимість в основних несучих конструкціях традиційних матеріалів сталі й залізобетону. При безпосередній участі ХДТУБА побудована значна кількість споруд подібного типу на території колишнього СРСР, а також в Україні. Особливістю їх є робота безпосередньо на відкритому повітрі, що дозволяє розширити досвід спостереження за клеяними дерев'яними конструкціями в умовах змінних температурологічних режимів експлуатації. Для формування об'єктивного підходу до оцінки довговічності КДК, які експлуатуються на відкритому повітрі, потрібен хоч би двадцятирічний строк спостереження за ними. Наявність в конструкціях і вузлових з'єднаннях сколююючих та нормальних напружень обох знаків вимагає уточнення пружних і фізичних співвідношень клеяної деревини, а також пильної оцінки напружено-деформованого стану. Упровадження до практики нових розрахунково-теоретичних комплексів дозволяє розглянути цю задачу в об'ємній постановці, що раніше просто не уявлялося можливим.

У результаті вивчення стану питання й проведеного аналізу сформульовані мета та задачі цього дослідження.

У д р у г о м у р о з д і л і розглядаються теоретичні питання обліку пружної анізотропії деревини. Найбільш точно роботу клеяної деревини під навантаженням відображає трансверсально-ізотропна (транстропна) модель деревини, що встановлено експериментально в роботах ряду організацій, також і в ХДТУБА. За вісь пружної симетрії приймається напрямок уздовж волокон по осі "а", яка відповідає максимальним значенням пружних характеристик, а в поперечному напрямку їх можна враховувати умовно однаковими. Розходження модулів пружності й зсув по осям, що перпендикулярні напрямкам волокон для перерізів площею більш 150 см² не перевищують 6 %. Для перерізів із клеяної деревини, в якій присутні дошки різного розпилювання, терміни тангенціальна й радіальна площина не характерні. Використання трансверсально-ізотропної моделі є також зручним і з розрахункової точки зору, щодо зменшення кількості невідомих при рішенні практичних задач.

Узагальнений закон Гука (в умовах плоского напруженого стану) при такій постановці задачі може бути записаний таким чином:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E_z} - \frac{\mu_{zx} \sigma_x}{E_x} - \frac{V_{z,zy} \tau_{zx}}{G_{zx}} ; \\
 \varepsilon_x &= -\frac{\sigma_z \mu_{xz}}{E_z} + \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{V_{x,zx} \tau_{zx}}{G_{zx}} ; \\
 \gamma_{zx} &= -\frac{\eta_{zx,x} \sigma_z}{E_z} - \frac{\eta_{zx,z} \sigma_x}{E_x} + \frac{\tau_{zx}}{G_{zx}} .
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Тут $\sigma, \tau, \mu, \varepsilon, \gamma$ - відповідно нормальні й дотичні напруження, коефіцієнти Пуассона, а також осьові відносні подовження й відносний зсув. В залежності (1) додатково введені коефіцієнти пружного взаємного впливу – лінійна деформація першого роду - V , а також коефіцієнти кутової деформації другого роду - η , які мають назву коефіцієнти Ченцова.

Математичне обґрунтування всіх розрахункових моделей при оцінці їх напружено-деформованого стану здійснюється з урахуванням низки припущень: а) тіло є суцільним середовищем; б) зв'язок між напруженням і деформаціями приймається лінійною внаслідок особливостей деревини, як будівельного матеріалу; в) початкові й залишкові напруження, що виникають у деревині в результаті природного росту, або склеювання, не враховуються; г) зміною властивостей міцності через довжину стовбура від окоренка до відрубача можна знехтувати.

В останні роки експериментально встановлено, що суцільна й клеяна деревина при деформуванні працює в умовах складного напруженого стану. В існуючому БНіПі спільний облік нормальних і дотичних напружень не передбачений. Із загального набору напружень обирається максимальне, як правило те, що діє уздовж волокон, і на нього робиться розрахунок. Такий підхід із сучасної точки зору викликає ряд заперечень. В першу чергу масові випробування вузлових з'єднань показали об'ємний характер роботи елементів дерев'яних конструкцій, хоч значення напружень у поперечному напрямку були на порядок нижче небезпечних напружень уздовж волокон. Однак опірність деревини при стиску поперек волокон менш в 5 разів, а при розтягненні поперек волокон в 50 разів, ніж уздовж. У зв'язку з цим, навіть незначне розтягнення поперек волокон призводить до розколювання елементів при напруженнях уздовж волокон суттєво більш низких, ніж граничні. Наявність складного напруженого стану деревини вимагає критеріальних підходів до розрахунку деревини, в особливості при розрахунку вузлових з'єднань. У роботі проведений аналіз найбільш поширених критеріїв міцності, в тому числі й запропонованого в ХДТУБА.

Чисельна реалізація задач з урахуванням складного напруженого стану виконувалась на розрахунково-теоретичному комплексі "Мираж" з використанням як плоских, так і об'ємних кінцевих елементів, що приймаються з ідентифікатором "ОВО", який вказує на те, що матеріал має анізотропні властивості.

В третьому розділі представлені результати експериментально-теоретичного дослідження клеяної деревини на моделях різних розмірів з метою вивчення її фенологічних властивостей, уточнення впливу масштабного фактора та швидкостей навантаження на характер її роботи й руйнування при простих видах напруженого стану.

Для вимірювання деформацій використовувались електричні датчики активного опору з базою 10 та 20 мм, індикатори годинникового типу й прогибомери Максимова. Для вимірювання застосовувались прилади "АИД-1", а також тензометричний комплекс "ТК-1". Навантаження зразків і моделей здійснювалося за допомогою гідравлічних пресів "УИМ-50", "Р-5", а також гідравлічних домкратів вантажністю 20 т.

Датчики активного опору наклеювались на всі поверхні моделей в декілька ярусів і в кожній дошці, що дозволяло отримувати повну картину деформування. Після випробувань зразків різного розміру на стиснення та обробки результатів був проведений тестовий розрахунок великомасштабного стислого елемента 12x12x18 см на ПК "Мираж", який показав достатню збіжність результатів експериментального дослідження й розрахунку за допомогою кінцевих елементів у вигляді призм, що регенеровані в систему кінцевих елементів типу КЕ 31. Паралельно досліджувався характер змінення фізичних характеристик (модулей зсуву та коефіцієнтів Пуассона) через ширину та висоту перерізу. При вивченні впливу масштабного фактора на характеристики міцності стиснених елементів розглядались такі серії зразків: малі - перерізом 20x20x30 мм; 30x30x45 мм; середні - 60x60x90 мм; 90x90x135 мм; та великі - 120x120x180 мм з різним числом дошок у клеєвому пакеті. Кожна серія містила в собі від 10 до 30 зразків. При їх моделюванні враховувались критерії подібності: геометричний, статичний, температурно-воло-гісний і кінетичний.

В результаті випробувань встановлено, що збільшення кількості клеяних швів, які є армучим прошарком, підвищує несучу здатність стислого елемента. Однак при кількості швів більш чотирьох їх вплив на властивості міцності деревини починає знижуватися. При аналізі отриманих результатів у генеральну сукупність введені також дані випробувань, що проведені в ЦНДІБК і ЦНДІМОДі. Отримані рівняння зв'язку (рис. 1) дозволяють оцінити коефіцієнти масштабності для стислих елементів і підготувати пропозиції для нової редакції БНіП. Аналогічний підхід використовується для оцінки масштабного фактора при вигині, де також випробувалась не тільки зміна властивостей міцності, але й пружних характеристик. Проведені контрольні випробування балок з одним, двома, трьома клеяними швами, складена генеральна сукупність, яка вміщує в собі ряд робіт ЦНДІБКА та інших організацій, та отримані рівняння зв'язку в напівлогарифмічній системі координат (рис. 2). Для базових зразків приймалися стандартизовані малі зразки 20x20x300 мм. Рівняння зв'язку зображені на рис.1 та 2.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити такі висновки - для оцінки властивостей клеяної деревини необхідне проведення випробувань більш великих зразків: а) для стиснення

можуть бути рекомендовані зразки перерізом 120x120x180 мм; б) для вигину – балки висотою від 180 мм до 240 мм, при $h/l = 1/10$.

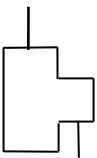
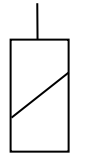
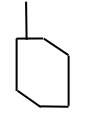
У четвертому розділі розглядаються особливості рішень вузлових з'єднань несучих конструкцій електрофізичних споруд. Застосування традиційних матеріалів сталі й залізобетону в конструкціях такого типу різко обмежено. В другому параграфі розділу наведені результати випробування електричних характеристик клеяної деревини для зразків різних поперечних перерізів і довжин від 0,1 м до 2 м. Елементи, що випробувались, покривались такими вологозахисними покриттями: пентафталевим лаком, креозотовим маслом, нафтанатом міді.

В результаті випробувань встановлено: - найкращим захисним покриттям з точки зору електротехнічної тривкості є нафтанат міді; - склад клею (ФР-12, ФРФ-50, КБ-3) суттєвого впливу на електротехнічну тривкість КДК не справляє; - електричні параметри зразків (ємність, об'ємний опір) практично не змінюються за розміром після проведення випробувань; - електрична тривкість суттєво залежить від конфігурації електродної системи, що випробовується, вона зменшується зі збільшенням числа перекрить; -КДК має суттєвий розклад по амплітуді (до 70 %); - мінімальні розрядні градієнти складають 160–200 кВ/м; -в окремих випадках помічено щеплення зразків. Розрахунковий рекомендований градієнт при впливі імпульсів у мікросекундній зоні дорівнює 100 кВ/м. При більш коротких імпульсах (менш 0,5 мкс) значення робочого градієнта можна збільшити до 190 кВ/м.

Враховуючи, що основні вузли запроектованих і побудованих опор вирішені у вигляді подушок, проведені додаткові випробування зразків різного розміру на несиметричне вільне й стиснуте зім'яття поперек волокон та під кутом 45^0 , що характерно для вузлів баштових конструкцій. Тензометрирування зразків показало значну нерівномірність розподілу напружень у подовжньому та поперечному напрямках. Поставлення упорів (стиснуте зім'яття) цілком покращує роботу з'єднання, що знижує деформації розтягнення поперек волокон. Найбільш радикальним засобом з ліквідації наслідків нерівномірного розподілу напружень при несиметричному зім'ятті слід вважати поставлення поперечних вклеяних склопластикових стержнів, що й було зроблено після обстеження конструкцій збудованої електрофізичної споруди в 1994 році. Крім зім'яття подушки основних вузлів підпадали сколюванню. На першому етапі проф. Фурсовим В.В. за участю автора розглядувалось “непряме” сколювання, при якому зразки виготовлялися з нахилом волокон під кутом $22^030'$ (максимальні дотичні напруження) та вивчалась робота чотирьох груп зразків при змінній вологості (табл. 1 та 2).

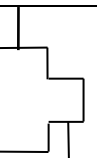
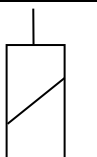
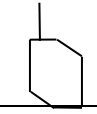
Таблиця 1

Результати випробувань на сколювання з урахуванням зміни масштабності при $W=12\%$

Схема випробувань	Групи зразків	Перерізи, $b \times h \times l$, мм	F, $см^2$	Кількість, шт.	$\tau_{вр}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	V, %
	1	12x80x60	3,6	20	12,4	1,36	10,96
	2	24x40x120	13,1	10	10,8	0,91	8,44
	3	36x60x180	31,5	10	10,4	1,23	11,83
	4	90x140x560	188	10	6,33	0,80	12,18
	5	20x30	6	10	7,2	1,40	16,00
	6	40x60	24	10	6,03	1,06	17,60
	7	80x120	96	10	5,5	0,90	14,30
	8	120x180	216	8	5,08	9,70	13,9
	9	36x140	50,4	10	10,6	1,60	15,00
	10	36x140	50,4	10	11,0	1,25	11,30

Таблиця 2

Результати випробувань на сколювання з урахуванням зміни масштабності при $W=30\%$

Схема випробувань	Групи зразків	Перерізи, $b \times h \times l$, мм	F, $см^2$	Кількість, Шт.	$\tau_{вр}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	V, %
	1	12x80x60	3,6	8	6,28	0,42	7,60
	2	24x40x120	13,1	8	5,26	0,34	6,50
	3	36x60x180	31,5	8	5,06	0,68	13,50
	4	90x140x560	188	8	4,04	0,29	7,20
	5	20x30	6	10	4,38	0,56	13,00
	6	40x60	24	8	3,68	0,44	12,00
	7	80x120	96	6	3,55	0,35	9,90
	8	120x180	216	8	3,46	0,62	18,00
	9	36x140	50,4	5	3,60	0,42	10,50

Руйнування всіх груп зразків ініціювалося підвищенням рівня поперечних напружень, що розтягалися, це викликало відрив волокон у найбільш слабкій дошці пакета на межі між клітинами пізньої (осінньої) та ранньої (весняної) деревини через нахильну площину.

Для оцінки роботи на сколювання, для основного вузла башт розглядувався спеціальний зразок з підрізкою торців, для створення внутрішньої пари сил, що імітує роботу подушки. Роздивлялися два види орієнтації дошок: пліском і вертикально. Для виключення повороту зразка на стані пресу ставився зварний упор з гумовою прокладкою. Різниця в міцності зразків різних за орієнтацією дошок була незначною й коливалась у межах від 2,4 до 5,6 %, що підтвердило гіпотезу про трансверсальність деревини. В результаті випробувань (табл. 1; 2) отримані рівняння зв'язку для сколювання при вологості 12% та 30% відносно логарифма площі:

$$\tau = 14,72 - 3,48 \lg F;$$

$$\tau = 6,87 - 1,26 \lg F. \quad (2)$$

Після випробувань підготовчого характеру були досліджені 6 великомасштабних трикутних ферм у натуральний розмір. Довжина нижнього пояса складала 2,42м, а висота в осях 0,7 м. Приєднання верхнього пояса до нижнього здійснювалось під кутом 45°, тобто моделювалася решітка башт. Експериментальне дослідження здійснювалось відповідно програмі за темою №0071. Навантаження відбувалось на випробному стенді "УИМ-50". Результати експерименту доведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Результати випробувань вузлових з'єднань з подушками

№ п/п	Перерізи (b x h), см		E, МПа	Руйнівальне навантаження, кН	Сколюючі зусилля, кН		k=Pe/Pt	Примітка
	елементів	подушок			Pe	Pt, min		
1	13,5 x 13,2	13,5 x 13,2		209	105		2,28	
2				224	112		2,45	
3				208	104		2,27	
4				241	121		2,63	
5				234	117		2,56	
6				264	132		2,88	
Середнє значення				Rp=230	115	Kcp = 2.51		

Характерно, що руйнування для всіх моделей, як з фіксуванням подушок склопластиковими нагельми, які поставлені "насухо", так і без них відбувалось ідентично. Найбільш інтенсивно тріщини розкривались у торцях подушок і нижнього пояса. Наявність торцевих тріщин показує,

що в роботі цих елементів суттєву роль грає вигин, який призводить до виникнення розтягуючих напружень поперек волокон, що є найбільш несприятливим видом впливу для деревини.

Експериментальні моделі були розраховані за допомогою ПК "Мираж". Схема вузла збиралась за допомогою прямокутних об'ємних кінцевих елементів КЕ 31 та просторових трикутних призм КЕ 33. При цьому в документі 3 ставилися фізико-механічні характеристики трансверсального тіла з жорсткісними параметрами, які прийняті згідно ідентифікатора "ОВО". Модулі пружності та зсуву в поперечному напрямку усереднювались, як і коефіцієнти Пуассона.

В п'ятому розділі розглядається дослідження хрестоподібних зразків перерізом 96x96, висотою від 350 мм до 380 мм на двоосне стиснення. Розглядувались різні кути нахилу бічних граней до вертикального елемента 45^0 , а також ортогональні хрестові з'єднання. Основне дослідження містить у собі п'ять серій зразків по 5-8 великомасштабних моделей. Перед основним дослідженням були проведені допоміжні експерименти, які містили в собі випробування міцності на прості види впливу та вивчення модуля об'ємної деформації. Проведення основного експерименту було розподілено на три послідовно виконаних етапи: 1) навантаження уздовж волокон; 2) навантаження поперек або під кутом до волокон; 3) спільне додання стискаючої сили в двох площинах. Зусилля в подовжньому напрямку створювались гідравлічним пресом "УИМ-50". Бокові зусилля передавались за допомогою спеціально розроблених траверс з металевими тяжами й створювались за рахунок установки на стенд гідравлічного домкрата вантажністю в 200 кн. Для оцінки деформованого стану на кожні два хрестоподібних зразки серії наклеювалось від 40 до 80 датчиків активного опору, базою 10 мм, з електричним опором біля 200 Ом. Датчики підключалися до електроніків "АИД-1" або "ТК-1", які фіксували збільшення деформацій. Нормальні та дотичні напруження, які діють на площадках пружної симетрії, визначались за рекомендаціями Ашкеназі О.К. Обробка результатів усіх випробувань була проведена в автоматичному режимі з використанням програми Microsoft Excel. За допомогою цієї програми виконана вся оформлювальна частина роботи, рисунки та графіки.

Максимальні подовжні напруження при однакових рівнях навантажень характеризувались стисненням і були близькі за абсолютними значеннями, однак кожна серія із чотирьох груп зразків мала свій характер їх розподілу. Розподіл подовжних і поперечних напружень при одноосному вертикальному прикладенні навантаження був достатньо стабільним при кутах 90^0 . При цьому значення максимальних поперечних напружень розтягу практично співпадали. При кутах 45^0 максимальні поперечні напруження знаходились у зоні довірчого інтервалу, однак характер їх розподілу мав значно більш складну картину.

Результати випробувань всіх серій з означенням рівня руйнуючих напружень приведені в табл. 4

Результати випробувань хрестів із КДК

№ сер.	Кут α^0	Кількість, шт.	Переріз, мм	Руйнуючі напруження, МПа			Співвідношення навантажень
				σ_z	σ_x	σ_α	
1		5	95x95	7,9	8,2	-	$P_z=P_s$
2	0	8	95x95	36,5	7,6	-	$P_s/P_z=1/10$
3	90	8	95x95	39,5	4,4	4,4	$P_s/P_z=1/7$
4	45	5	95x95	31,9	7,7	5,5	$P_s/P_z=1/5$

Результати досліджень двоосного прикладення навантаження показані на рис. 3 та 4. При спільному прикладенні навантажень у ортогональних хрестах максимальні подовжні напруження зменшувались на 8,8%, а при куті нахилу бокової грані в 45^0 зафіксовано їх збільшення приблизно на 32%.

Таким чином, у першому випадку спільне прикладення навантажень створює деякий запас, якщо зрівнювати з одноосним напруженим станом, а при кутах 45^0 суттєво збільшує напружено-деформований стан. При кутових сполученнях, що найбільш часто зустрічаються в конструкціях, ігнорування впливу поперечного діяння неприпустимо.

Теоретичне рішення задачі двоосного напруженого стану здійснювалось у два етапи за допомогою обчислювального комплексу "Мираж". На першому етапі розглядалась пласка задача теорії пружності, а на другому етапі була проведена оцінка властивостей міцності моделей, що працюють на двоосне стиснення за об'ємною схемою.

Слід відзначити, що найбільш небезпечні напруження, що розвиваються в поперечному напрямку в середній робочій зоні хрестів, знаходяться у межах довірчого інтервалу. Особливо близький збіг результатів теоретичного розрахунку з даними експерименту отримано при кутах у 45^0 .

Рис 3 и 4

ВИСНОВКИ

1. У вузлових з'єднаннях практичне врахування анізотропних властивостей клеяної деревини уявляється обов'язковим.
2. За результатами роботи отримані коефіцієнти масштабності для стиснення та сколювання, а також проведено їх уточнення для вигину.
3. Запропоновані перерізи базових зразків для випробування їх у вигині при умові врахування впливу клеяних швів.

4. Оцінена робота клеяної деревини при складному напруженому стані, досліджений вплив різних її компонентів на загальний тензор напружень.
5. Розглянута робота клеяної деревини в різноманітних умовах експлуатації (в тому числі й на відкритому повітрі), отримані кореляційні залежності міцносних її властивостей при змінній вологості, а також імпульсних електричних впливах.
6. Запропоновані способи підвищення працездатності клеяної деревини в умовах електричних впливів і при різних температурно-вологісних режимах.
7. Вирішена об'ємна задача для великомасштабних вузлів сполучення клеяних дерев'яних конструкцій та розроблений інженерний метод їх розрахунку.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Ляхин В.В., Фурсов В.В., Галушко П.Г., Чередник Д.Л. Деревянные конструкции электротехнического назначения // Тези доповідей регіональної наук.-практ. та методичної конф. "Дослідження будівельних елементів і конструкцій та особливості викладання будівельних дисциплін". – Рівне: УПВГ. - 1993. - С.68.
2. Галушко П.Г., Ляхин В.В., Чередник Д.Л. Обеспечение эксплуатационной надежности уникальных несущих конструкций из клееной древесины // Тезисы докладов 48 науч.-техн. конф. "Повышение эффективности строительства". - Харьков: ХИСИ. - 1993.- С.71.
3. Фурсов В.В., Ляхин В.В., Чередник Д.Л. Создание образцов и методика исследования механических характеристик клееной древесины // Тезисы докладов 49 науч.-техн. конф. "Повышение эффективности строительства". - Харьков: ХИСИ. - 1994.-С.73.
4. Фурсов В.В., Абдурахимов Р.Ф., Чередник Д.Л. Разработка методики испытаний древесины на сложное напряженное состояние // Тезисы докладов 49 науч.-техн. конф. "Повышение эффективности строительства". - Харьков: ХИСИ. - 1994.-С.74.
5. Фурсов В.В., Чередник Д.Л., Абдурахимов Р.Ф. Исследование модуля объемной деформации для клееной древесины // Тезисы докладов 50 науч.-техн. конф. "Повышение эффективности строительства". - Харьков: ХГТУСА. - 1995.-С.40.
6. Фурсов В.В., Чередник Д.Л. Исследование масштабного фактора при испытаниях клееной древесины на сжатие //Бюллетень технической информации. - Харьков: ХП(НИ)И. -1995.- №2.- С.20-22.
- 7.Фурсов В.В., Чередник Д.Л. Исследование узловых соединений башенных конструкций // Тезисы докладов IV Украинской науч.- техн. конф. "Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве". - Харьков: ХГАГХ.- 1996. - С. 51-53.
8. Фурсов В.В., Абдурахимов Р.Ф., Чередник Д.Л. Исследование объемной деформации древесины при различных условиях нагружения // Науковий вісник будівництва.- Вип. 2. -Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1998. – С. 35-39.
9. Фурсов В.В., Абдурахимов Р.Ф., Чередник Д.Л. Исследование сложного напряженного состояния в клееной древесине // Науковий вісник будівництва.- Вип. 3. -Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1998. - С. 30-36.

10. Фурсов В.В., Чередник Д.Л. Влияние масштабного фактора на упругие характеристики клееной древесины // Науковий вісник будівництва.- Вип. 5. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1999. - С. 49-53.

АНОТАЦІЯ

Череднік Д.Л. Несуча здатність вузлових з'єднань баштових конструкцій з клеяної деревини.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди. Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 1999 р.

У роботі досліджені різноманітні види навантаження клеяної деревини для оцінки її властивостей міцності та пружності при різному прикладанні навантаження, та при різних граничних умовах. Досліджений масштабний фактор при стисненні та сколюванні, одержані рівняння зв'язку та розроблені пропозиції до БНіП. Уточнений вплив масштабного фактору при вигині. Експериментально досліджено складний напружено-деформований стан при двоосному стисненні. Експериментально досліджені основні вузлові поєднання конструкцій ізоляційних електрофізичних споруд у натуральну величину, визначені електротехнічні параметри клеяної деревини при різних розмірах, способах склеювання та умовах захисних просочувань. Проведено зіставлення експериментальних даних з теоретичним розв'язуванням об'ємних задач при всіх видах випробувань. Запропоновані уточнені коефіцієнти при критеріальному розрахунку та інженерні методи розрахунку.

Ключові слова: клеяна деревина, вигин, стиснення, анізотропія, зім'яття, складний напружений стан, безметальні сполучення.

SUMMARY

Tcherednik D.L. Garrying capacity of unit connections of tower constructions from glue wood. - Manuscript.

Dissertation in the level of candidate of technical sciences on speciality 05.23.01 - building constructions, buildings and structures. Kharkov state academy of railway transport, Kharkov, 1999.

Different kinds of loading glue wood for assessing its strength and resilient conditions under different conditions of applied loading and boundary conditions are studied in the work. Scale factor under compression and splitting off was investigated, equations of connection were obtained and worked out proposals for BN&R. Influence of scale factor under bend was specified. Complex strained deformation state at double axes compression was investigated experimentally. Basic unit connections of constructions isolational electrophysical plants in real scale was investigated experimentally, electrotechnical parameters of glue wood under different sizes, ways of glueing together and conditions of protective steps were determined. A comparison of experimental data with theoretical solution of volume problem under all kinds of experiments. Specified coefficients of criteria and engineering calculations are proposed.

Key words: glue wood, bend, compression, splitting off, anisotropy, crumple complex compressed state, junctions without metal.

АННОТАЦИЯ

Чередник Д.Л. Несущая способность узловых соединений башенных конструкций из клееной древесины.- Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999 г.

Во введении рассмотрены актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическое значение полученных результатов. Приведены данные по внедрению, апробации и публикациям по теме работы.

В диссертации проведен анализ работ, связанных с изучением клееной древесины как строительного анизотропного материала, поскольку последнее представляет собой качественно иной материал, нежели цельная природная древесина. Оценено влияние клеевых швов в поперечном сечении и перспективы развития подходов к расчетам конструкций из клееной древесины с учетом условий ее действительной работы в аспекте развития современных областей науки и техники. Для формирования объективного подхода к оценке долговечности КДК, эксплуатируемых на открытом воздухе необходима оценка их работы в условиях переменных температурно-влажностных режимов. На основании проведенного анализа сформулированы цели и задачи исследования.

Рассмотрены теоретические вопросы учета упругой анизотропии клееной древесины. На основании проведенных в последнее время работ рассматривалось трансверсально-изотропная модель, с использованием соответствующих физических соотношений теории упругости. Показано, что в силу анизотропности своего строения, древесина работает даже при осевых воздействиях, в условиях сложного напряженного состояния. При таком подходе необходим критериальный учет всех компонентов тензора напряжений, в особенности при расчете узловых соединений. Математическое обоснование всех расчетных моделей при оценке их напряженно-деформированного состояния производится с учетом ряда допущений: а) тело является сплошной средой; б) связь между напряжениями и деформациями принимается линейной в силу особенностей древесины, как строительного материала; в) начальные и остаточные напряжения, возникающие в древесине в результате естественного роста, либо склеивания, не учитываются; г) изменением прочностных свойств по длине ствола от комля до отруба можно пренебречь. В разделе рассмотрена возможность использования современных расчетно-теоретических комплексов для численной реализации поставленных задач.

Приведены результаты экспериментально-теоретического исследования клееной древесины на моделях различных размеров с целью изучения ее механических и упругих свойств при сжатии, изгибе, скалывании. Рассмотрено также влияние скоростей нагружения при различных видах

напряженного состояния КДК. Оценено влияние переменных температурно-влажностных режимов на прочностные и упругие характеристики. Показано, что нормированные исследования свойств древесины на образцах малых размеров не являются характерными для клееной древесины.

В результате исследований, представленных в настоящем разделе получены уравнения связи для прочностных и упругих характеристик, дающие возможность получить уточненные коэффициенты масштабности при формировании новых отечественных норм. Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы. Для оценки свойств клееной древесины необходимо проведение испытаний более крупных образцов: а) для сжатия могут быть рекомендованы образцы сечением 120x120x180 мм; б) для изгиба - балки высотой от 180 мм до 240 мм, при $h/l=1/10$.

Рассмотрены особенности решений узловых соединений несущих изоляционных конструкций электрофизических установок. На первом этапе оценена их электротехническая прочность на образцах различных поперечных сечений и длин, и получены минимальные разрядные градиенты. Проведены дополнительные исследования по проверке несущей способности подушек основных узлов башен в условиях несимметричного смятия. При этом рассмотрено, как свободное (без ограничителей), так и стесненное смятие. Исследовано скалывание масштабных образцов клееной древесины при различных влажностных условиях (12% и 28,8%). Кроме обычных образцов рассматривался специальный образец с подрезкой торцов, для создания внутренней пары сил, имитирующей работу подушки. Рассматривались два вида ориентации досок: плашмя и вертикально. Для исключения поворота образца на станине прессы устанавливался сварной упор с резиновой прокладкой. Различие в прочности образцов разных по ориентации досок было незначительным и колебалось в пределах 2,4 до 5,6 %, что подтвердило гипотезу о трансверсальности древесины. Обработка результатов экспериментальных исследований проведена с помощью Microsoft Excel, получены уравнения связи и учтено влияние масштабного фактора. В заключительной части раздела приведены результаты исследования 6 моделей узлов в натуральную величину и произведен их расчет с помощью комплекса "Мираж".

Изложены результаты исследования ортогональных и наклонных крестообразных образцов сечением 95x95x380 мм, оценено их напряженно-деформированное состояние, модули объемной деформации и характер разрушения. Был произведен расчет образцов с использованием вычислительного комплекса "Мираж" и полученные данные сопоставлены с результатами экспериментов. На основании полученных результатов введены поправки в критерий прочности, полученный с учетом энергии формоизменения по энергетической теории прочности.

Ключевые слова: клееная древесина, изгиб, сжатие, скалывание, анизотропия, смятие, сложное напряженное состояние, безметалльные соединения.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ
ВУЗЛОВИХ З'ЄДНАНЬ БАШТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З КЛЕЯНОЇ ДЕРЕВИНИ

ЧЕРЕДНІК ДИМИТРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

Відповідальний за випуск
к.т.н., доц. Перетяцько Ю.Г.

Підписано до друку 9.03.99

Формат паперу 60x84 1/16. Папір друкарський №1.

Друк. на ризографі. Умов. - друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,2.

Зам. № 170. Тираж 100 прим. Безплатно.

Видавничий центр Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури
(Україна, 310002, м. Харків, вул. Сумська, 40)